

(19)日本国特許庁（J P）

(12) 公 開 特 許 公 報（A）

(11)特許出願公開番号  
特開2003－90892  
（P2003－90892A）

(43)公開日 平成15年3月28日(2003.3.28)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
G 2 1 C 15/16	G D B	G 2 1 C 15/16	G D B
F 2 2 B 37/28		F 2 2 B 37/28	Z
F 2 8 F 13/18		F 2 8 F 13/18	B
G 2 1 C 3/06		G 2 1 D 1/00	Q
G 2 1 D 1/00		G 2 1 C 3/06	B
審査請求 未請求 請求項の数 5 O L （全 9 頁）			

(21)出願番号 特願2001－301408(P2001－301408)  
(22)出願日 平成13年9月28日(2001.9.28)  
(31)優先権主張番号 特願2001－214337(P2001－214337)  
(32)優先日 平成13年7月13日(2001.7.13)  
(33)優先権主張国 日本（J P）

(71)出願人 000003078  
株式会社東芝  
東京都港区芝浦一丁目1番1号  
(72)発明者 石橋 文彦  
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株  
式会社東芝横浜事業所内  
(72)発明者 光武 徹  
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株  
式会社東芝横浜事業所内  
(74)代理人 100083161  
弁理士 外川 英明

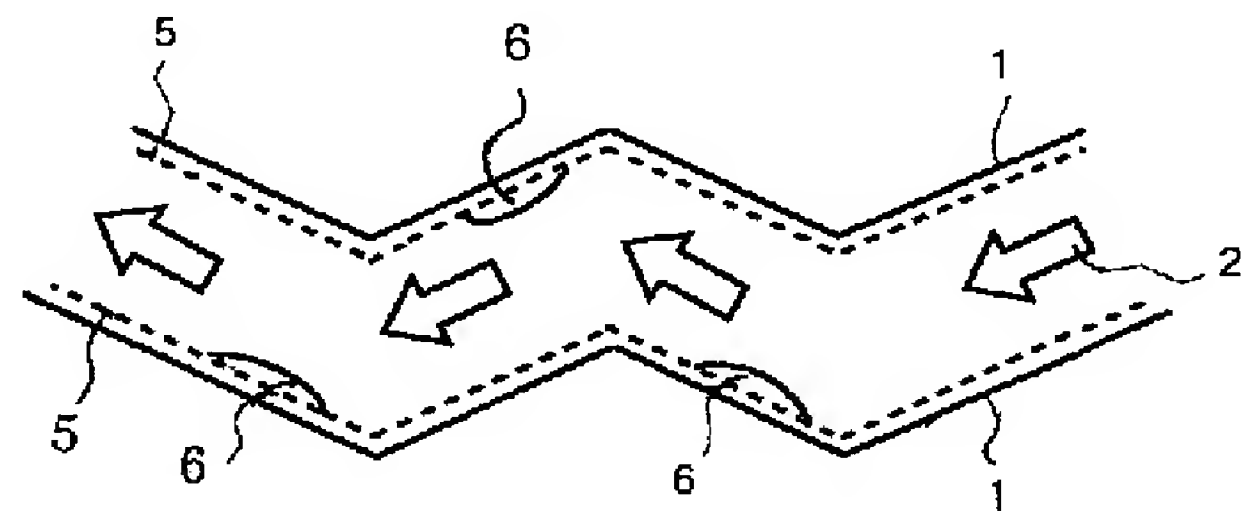
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 蒸気乾燥器、熱交換器、発熱体被覆管および伝熱システム

(57)【要約】

【課題】 蒸気乾燥器、熱交換器、発熱体被覆管の何れかを具備する伝熱システムにおける熱的効率の向上を図る。

【解決手段】 蒸気乾燥器は、蒸気中に随伴される液滴を捕捉するために曲折した流路の壁面に親水性材料の被膜を付着した流路壁を具備する。また、高温の気相と低温の液相が伝熱面を介して接して熱交換を行う熱交換器は、気相が凝縮する伝熱面表面に親水性材料からなる被膜を付着してなる。さらにまた、発熱体を内包し被覆管の外表面を冷却材が流れる発熱体被覆管は、被覆管の表面に親水性材料からなる被膜を付着してなる。こうした伝熱システムにおいてさらに親水性材料として酸化物半導体を主成分とする材料を用いるのが好適である。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 内部を蒸気が流通し、この流通する蒸気に随伴される液滴を捕捉する曲折した流路を構成する複数の流路壁と、この流路壁によって捕捉された液滴を集約する液滴集約手段とを具備する蒸気乾燥器であって、前記流路の壁面の少なくとも一部に親水性材料の被膜を付着してなることを特徴とする蒸気乾燥器。

【請求項2】 高温の気相と低温の液相とがそれぞれ独立して設けられた流路により内部を流通し、前記気相と液相とが伝熱面を介して接することにより熱交換を行う熱交換器であって、前記気相が凝縮する伝熱面の表面の少なくとも一部に親水性材料からなる被膜を付着してなることを特徴とする熱交換器。

【請求項3】 発熱体を収容する発熱体被覆管であって、少なくともその外表面を流路とする冷却材が前記発熱体によって加熱され気液2相流を構成する蒸気発生器の内部に複数設けられ、かつ前記外表面の少なくとも一部に親水性材料からなる被膜を付着してなることを特徴とする発熱体被覆管。

【請求項4】 請求項1記載の蒸気乾燥器、請求項2記載の熱交換器および請求項3記載の発熱体被覆管の中から選択される少なくとも1つを具備してなる伝熱システムであって、前記流路の少なくとも一部に紫外線より短波長の電磁波を放射する放射性同位元素を含む流体を流通させる手段を具備することを特徴とする伝熱システム。

【請求項5】 請求項1記載の蒸気乾燥器、請求項2記載の熱交換器および請求項3記載の発熱体被覆管の中から選択される少なくとも1つを具備してなる伝熱システムであって、前記親水性材料の主成分が酸化物半導体であることを特徴とする伝熱システム。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、蒸気乾燥器、熱交換器、発熱体被覆管およびこれらのうち少なくとも1つを備えた伝熱システムに関する。

## 【0002】

【従来の技術】気液2相流れによる伝熱システムの例として、改良型沸騰水型原子炉の場合を説明する。

【0003】図8は原子炉压力容器の概略断面図である。原子炉压力容器50は燃料集合体が装荷されている原子炉炉心55を内包してなり、シュラウド56と原子炉压力容器50の側方内壁に挟まれた空間の下部にインターナルポンプ57が配置されている。

【0004】原子炉压力容器50内の冷却材すなわち水は、原子炉炉心55に装荷された燃料集合体を通過し上昇する際に、加熱され、水・蒸気混合物のいわゆる気液2相流れとなる。この気液2相流は、原子炉炉心55の上方に設置された気水分離システム51に導かれる。

【0005】気水分離システム51は、図8に示すよう

に、原子炉炉心55で発生した水・蒸気混合物に遠心力を与えて、機械的に蒸気と水とに分離する気水分離器52と、気水分離器を出た液滴等の水分を含んだ湿り蒸気から液滴を除去する蒸気乾燥器53とから成る。

【0006】図9は原子炉発電プラントの概略系統構成図である。図では簡略化して主要な構成のみを示している。原子炉压力容器50に主蒸気管54を介して直列に高圧蒸気タービン59が接続され、その下流には湿分分離器61が接続されている。またこの湿分分離器61には高圧蒸気タービン59と機械的に結合された低圧蒸気タービン60が接続されており、この低圧蒸気タービン60には高圧蒸気タービン59との回転力により発電する発電機62が連結されている。低圧蒸気タービン60の下流には、排出された蒸気を海水などの冷却水により低温の水に凝縮して、低圧化する復水器63と復水ポンプ64が接続されている。

【0007】復水ポンプ64と原子炉压力容器50との間には、低圧蒸気タービン60から抽気した蒸気を熱源として復水ポンプ64からの給水を加熱する複数の低圧給水加熱器65（図では1つのみ示した。）と、低圧の給水を加熱して原子炉圧力まで高める給水ポンプ67、および高圧蒸気タービン59から抽気した蒸気と湿分分離器61の排水を熱源として給水を加熱する複数の高圧給水加熱器66（図では1つのみ示した。）が設けられる。高圧給水加熱器66により加熱された水は給水配管58を介して原子炉压力容器50内に導かれる。なお、復水器63には高圧給水加熱器66と、給水加熱器65のドレンが流れ込むようになっている。

【0008】原子炉压力容器50内の気水分離システム51で水分を除去された蒸気は、主蒸気管54を通して輸送され、高圧蒸気タービン59で仕事をし、再び湿分を多く含んだ気液2相流となる。

【0009】高圧蒸気タービン59を出た蒸気流は湿分分離器61で湿分を除去された後、低圧蒸気タービン60へ導かれ、仕事をする。これらの仕事がタービン・ロータを通して発電機62を駆動し、発電が行われ、低圧蒸気タービン60の出口を出た蒸気は、高真空度に維持された復水器63で冷却され、復水（液相）になる。この復水は、熱交換器として機能する低圧給水加熱器65および高圧給水加熱器66によって加熱され、再び原子炉へ戻される。

【0010】上述の機械的な気水分離器52は、炉心上部プレナムを覆うシュラウドヘッド上方に取付けられている。この気水分離器52は、螺旋状の羽根によって蒸気・水の混合物を旋回させ、密度の高い水は遠心力の作用によって気水分離器52の外周部に集められる。集められた水は、外周部に設けられた分離水の下降流路を経て、下方のプール内に入りダウンコマ（下降管）内に再流入する。

【0011】また、気水分離器52の頂部から放出され

た液滴を含む湿り蒸気は、湿り蒸気プレナムを経て波板式ベーンを備えた、上述の蒸気乾燥器53へと導かれる。湿り蒸気はフードプレートにより、湿り蒸気の流量を配分する多孔板を介して波板式ベーンへと導かれ、液滴と蒸気との慣性力の差を利用して、慣性力の大きい液滴は波板式ベーン上に衝突して捕集される。そしてこの液滴はドレン「とい」によって収集され、ドレンパイプを介して排出され、ダウンカマへと導かれる。

【0012】さらに、上述の湿分分離器61は、高圧蒸気タービン59と低圧蒸気タービン60の間に設置され、その内部では、湿分を多く含む蒸気が前記蒸気乾燥器と同様の波板式ベーン間を流れ、液滴は波板式ベーンと衝突することで波板式ベーンに捕集され、ドレンとして湿分分離器61外へ排出される。

【0013】さらにまた、上述の復水器63は、タービン効率を上昇させるため通常高真空度を維持し、内側に冷却水が流れる多数の管束の外側に蒸気流れを導き、除熱することで蒸気は復水（液相）となって復水器63の底部に溜まる。

【0014】さらに、上述の給水加熱器65、66は、図3に示すように、胴側に蒸気を流し、管内部に復水を流すことで復水温度を上昇させる。このとき、蒸気は除熱されドレン（液相）となって、給水ヒータ底部に溜まり、ドレン水として排出される。

【0015】一方、沸騰水型原子炉における燃料集合体は、ほぼ四角形断面を有するチャンネルボックス内に、燃料棒およびウォータロッドが正方格子状に配置され、冷却材が下から上向きに流れて、燃料棒からの熱を除去する。燃料棒からの熱伝達により、冷却材は、沸騰して蒸気と水の混じった流れとなって下流側に進むと共に、気相割合（ボイド率）を増加する。すなわち、薄い液膜流が燃料棒の被覆管表面に形成されて、燃料棒からの熱除去に重要な役割を果たしているが、燃料棒内部からの熱流束による沸騰（蒸発）および蒸気流との相互作用により液膜表面から液滴が発生して液膜流量が減少することになる。

【0016】以上述べた機器の共通の特徴として、流路壁表面を流れる薄い液膜流が重要な役割を果たすが、従来技術では、その液膜流特性を積極的に制御する手段は知られていない。

【0017】すなわち、沸騰水型原子炉用の蒸気乾燥器の公知技術としては、特開平6-222190号公報記載の技術があるが、その内容は、液滴捕捉に関して上流側で粒径の大きな液滴を捕捉し、下流側で粒径の小さな液滴を捕捉するという技術であり、液滴が捕捉される波板式ベーンの表面を流れる液膜流特性を制御する技術については、何ら開示されていない。

【0018】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、例えば沸騰水型原子力発電所では、環状噴霧流様式と呼ばれ

る、蒸気主流に随伴される液滴と、構造物または流路壁を流れる液膜流とからなる気液二相流のフローパターンで運転される機器が数多く設置されている。

【0019】すなわち、気相中の液滴を捕捉して気相と液相を分離する蒸気乾燥器、一次側（高温気相）と二次側（低温液相）の間で熱交換させるための給水加熱器、復水器、湿分分離器などの熱交換器、および燃料集合体の燃料棒周辺を流れる冷却材（水）がその燃料棒で発生した熱を受けて蒸気を発生させる原子炉燃料集合体等がある。本発明は、これらの機器の問題点を明らかにし、性能向上を図ろうとするものである。

【0020】まず、蒸気乾燥器においては、蒸気主流に随伴される液滴は、蒸気と液滴の慣性力の違いにより、波板式ベーンにより構成される流路壁に衝突し、衝突した液滴が液膜流を形成して波板式ベーンの表面を流下して除去される。したがって、波板式ベーンによる液滴捕集量が大きくなるような設計改良がなされている。

【0021】しかしながら、波板式ベーンに衝突し捕集された液滴が、液膜を形成し、ドレン管に向かって波板式ベーン上を流下する際に、蒸気流中の液滴が入射したり、周辺蒸気流のせん断力が液膜流から液滴を発生させるため、従来技術では蒸気中の液滴の割合（キャリオバ率）を小さくすることはできないという課題があった。

【0022】次に、1次側（高温気相）と2次側（低温液相）の間で熱交換させるための給水加熱器、復水器、湿分分離機などの熱交換器についての課題を説明する。熱交換器では1次側の気相と2次側の液相とが、それぞれ独立して設けられた流路の内部を流通しており、気相と液相とが、伝熱面を介して接することにより熱交換が行われる。この際、高温気相（蒸気）と接触する低温液相（水）の伝熱管外表面で、気相が凝縮して液相を生じ、この液相が液膜流を形成し、その液膜流が重力によって落下する。液膜流が「滑らかに」落下すれば、高温気相（蒸気）との接触面が確保されることになるので、熱交換効率を高める要素となる。従来技術では、蒸気が凝縮して形成される液膜流を滑らかに落下させる手段がなかったため、熱交換効率の改善が進まないという課題があった。

【0023】次に、蒸気発生器内に設けられた発熱体を被覆する発熱体被覆管についての課題を説明する。以下、一例として、蒸気発生器として沸騰水型原子炉の原子炉圧力容器を想定し、この内部に設けられた発熱体としてウラン酸化物あるいはウラン・プルトニウム混合酸化物（MOX）からなる原子炉燃料を、発熱体被覆管として燃料被覆管を、それぞれ想定して説明する。燃料被覆管と上下端栓から構成される燃料棒を複数立設させてなる燃料集合体においては、下部に設けられる冷却材入口から飽和温度以下のサブクール水が内部に流入し、燃料棒からの熱伝達により沸騰して、蒸気と水の混じった

10

20

30

40

50

気液2相流流れとなる。この気液2相流流れは、さらに燃料棒からの熱伝達により気相割合（ボイド率）を増加し、蒸気主流に随伴される液滴流と、燃料棒表面を流れる液膜流とからなる環状噴霧流様式と呼ばれるフローパターンを形成する。

【0024】このフローパターンで燃料棒発熱が一定レベルを越えると、燃料棒表面の液膜流が破断するいわゆるドライアウトが生じて燃料棒表面の熱伝達性能が悪化し、燃料棒表面温度がさらに増加する。このような熱伝達性能が悪化する状態を沸騰遷移、このようなレベルの熱出力を熱的な限界出力と呼ぶ。ドライアウトが生じる限界出力状態は、燃料棒表面を流れる液膜流量に依存することから、液膜流と蒸気流との相互作用により発生する液滴流量の発生を抑制して液膜流を大きくする必要があるという課題があった。

【0025】以上述べたことから、本発明は、伝熱システムとしての蒸気乾燥器、熱交換器あるいは発熱体被覆管における熱的効率の向上を図ることを目的とする。

【0026】すなわち、本発明の蒸気乾燥器への適用に際しては、波板式ベーンの表面を流下する液膜流からの液滴発生を抑制して、蒸気乾燥器の湿分分離性能の向上を図ることを目的とする。

【0027】また、熱交換器への適用に際しては、伝熱管外表面を流下する液膜流れを滑らかにすることにより、熱交換器の凝縮熱効率性能の向上を図ることを目的とする。

【0028】さらに、発熱体被覆管への適用に際しては、発熱体被覆管をカバーして薄い液膜流を形成して液滴発生を抑制して、発熱体を収容する蒸気発生器の熱的性能の向上を図ることを目的とする。

【0029】

【課題を解決するための手段】上述した目的を達成するために、請求項1の発明は、内部を蒸気が流通し、この流通する蒸気に随伴される液滴を捕捉する曲折した流路を構成する複数の流路壁と、この流路壁によって捕捉された液滴を集約する液滴集約手段とを具備する蒸気乾燥器であって、前記流路の壁面の少なくとも一部に親水性材料の被膜を付着してなることを特徴とする。

【0030】請求項1の発明によれば、蒸気乾燥器の波板式ベーン・ポケット部などに親水性の材料を用いることにより、液滴付着部の接触角が低減して少量の液滴により形成される液膜でも波板式ベーンの表面に広がって液膜流を形成することができる。そのため、液膜流表面からの液滴の再剥離を防止できることから、気液分離性能を高くすることができる。

【0031】請求項2の発明は、高温の気相と低温の液相とがそれぞれ独立して設けられた流路により内部を流通し、前記気相と液相とが伝熱面を介して接することにより熱交換を行う熱交換器であって、前記気相が凝縮する伝熱面の表面の少なくとも一部に親水性材料からなる

被膜を付着してなることを特徴とする。

【0032】請求項2の発明によれば、熱交換器の伝熱管表面に親水性の材料を用いることにより、伝熱管表面をカバーして流れる液膜流の付着面積割合を大きくすることができるから、この液膜の厚さを均一に薄く維持することにより、伝熱効率を高めることができる。

【0033】請求項3の発明は、発熱体を収容する発熱体被覆管であって、少なくともその外表面を流路とする冷却材が前記発熱体によって加熱され気液2相流を構成する蒸気発生器の内部に複数設けられ、かつ前記外表面の少なくとも一部に親水性材料からなる被膜を付着してなることを特徴とする。

【0034】請求項3の発明によれば、発熱体被覆管表面に親水性材料を用いることにより、被覆管表面を流れる液膜流が滑らかに流れて液膜流表面からの液滴の再剥離を防止できることから、蒸気発生器における熱的限界出力を高くすることができる。また、液膜が乾いて表面がドライ状態になった後において、蒸気中に随伴された液滴が表面をぬらすため、沸騰伝熱により被覆管から熱を奪い、蒸発潜熱により被覆管を効率的に冷却することができる。

【0035】請求項4の発明は、請求項1記載の蒸気乾燥器、請求項2記載の熱交換器および請求項3記載の発熱体被覆管の中から選択される少なくとも1つを具備してなる伝熱システムであって、前記流路の少なくとも一部に紫外線より短波長の電磁波を放射する放射性同位元素を含む流体を流通させる手段を具備することを特徴とする。

【0036】なお、ここで、伝熱システムとは、例示的には、蒸気乾燥器、蒸気乾燥器あるいは湿分分離器を備えた気水分離システム、熱交換器、熱交換器と実質的に同等の作用を有する復水器、給水加熱器、湿分分離器、発熱体被覆管、発熱体被覆管を内蔵する蒸気発生器、蒸気発生器を備えてなる発電プラントの何れかとして表される機器あるいは設備の包絡的な概念を示すものである。

【0037】請求項4の発明によれば、親水性材料は酸化チタンなどの酸化物半導体を用いることにより、表面に紫外線もしくはさらに波長の短い光を照射することで光触媒反応を起こし、表面の親水性をさらに高めることができるため、上述した伝熱システムの気液分離効率あるいは伝熱効率等の性能をさらに向上させることができる。

【0038】請求項5の発明は、請求項1記載の蒸気乾燥器、請求項2記載の熱交換器および請求項3記載の発熱体被覆管の中から選択される少なくとも1つを具備してなる伝熱システムであって、前記親水性材料の主成分が酸化物半導体であることを特徴とする。

【0039】請求項5の発明によれば、親水性の酸化物半導体を付着した表面に放射能を帯びた流体を流し、放

10

20

30

40

50

射線により表面を励起することにより表面の親水性をさらに高めることができるため、上述した伝熱システムの気液分離効率、伝熱効率等の性能をさらに向上させることができる。

#### 【0040】

【発明の実施の形態】（第1の実施の形態）図1は、本発明の第1の実施の形態として、沸騰水型原子力発電所の蒸気乾燥器を示す図である。

【0041】蒸気乾燥器には、図1に示すように、曲折した流路を構成する複数の波板式ベーン1からなる波板式ベーン群が立設されている。この波板式ベーン1間を流通する蒸気中の液滴は、曲折した流路を蒸気に随伴しきれなくなつて、波板式ベーン1に付着するが、付着した水滴は、重力によって落下し、波板式ベーン1の下方に設けられたドレン樋3aにより集約され、ドレン管3bを経て蒸気乾燥器の外部に導かれる。

【0042】蒸気乾燥器の作動原理について説明する。下方より流入する蒸気と水の2相流2は、波板式ベーン1からなる波板式ベーン群の側方に設けられた孔を有するパンチングプレート4により均圧され、波板式ベーン1に導かれる。波板式ベーン1で複数回、流路方向を変更されると、2相流中の液滴は、波板式ベーン1の表面に衝突・付着し、波板式ベーン1の表面で液膜を形成し重力により下方へ流れ落ち、ドレン樋3aにより集約されドレン管3bより排出される。下方より流入する蒸気と水の二相流中の湿り度（水の割合）は重量パーセントで約10%程度であり、蒸気乾燥器出口では約0.1%で、ほとんどの液滴が除去されることになる。

【0043】ここで、本実施の形態では図2に波板式ベーン1の拡大断面を示すように、二相流流れから気液を分離する波板式ベーン1の表面に親水性材料4を被覆する構成としている。これにより、波板式ベーン1表面に親水性を持たせ、液滴6の接触角を小さくし、液膜厚さを均一に薄くすることにより、波板式ベーン1に一旦付着した液滴や液膜が、二相流流れにより再剥離されることがないようにする。

【0044】固体表面に付着する液体の接触角 $\theta$ に関する表面の力のバランスは、Youngの式により次のように表すことができる。

$$r_s = r_{SL} + r_L \cos \theta \quad \cdots \text{式(1)}$$

ここで、 $r_s$ は固体の表面張力、 $r_{SL}$ は固-液界面張力、 $r_L$ は水の表面張力である。

【0045】濡れ性の良い固体表面では、接触角 $\theta$ は90度以下0度に近くなる場合がある。接触角を小さくする条件としては、上式(1)より、表面張力 $r_s$ の大きな固体材料を用いることが考えられる。また他の方法として、イオン注入により表面を活性化する方法、表面に細かな粗さを付加して表面積を増加する方法などが知られている。また、親水性材料として、濡れ性の向上した酸化物半導体、例えば、酸化チタンなどを用いることが

できる。

【0046】親水性材料の表面に液滴が付着した場合、液滴は波板式ベーンの表面全体に濡れて広がり、ほぼ一様な水膜が形成されて、波板式ベーンと液滴との接触角は約30°以下となる。

【0047】液膜表面からの液滴発生過程には、液膜上の擾乱波が気相とのせん断力によりひきちぎられる過程や液滴衝突時の再飛散などが考えられている。これらに対して、親水性材料による液滴発生の抑制効果として次のような現象が考えられる。

【0048】すなわち、親水性の高い表面材料を用いることにより、水との接触角が小さくなり、偏りのない薄い水膜が形成されるので、蒸気中の液滴がベーンに衝突した後再飛散する確率が低下するという特性である。

【0049】一般に、径が小さくて、蒸気流れに追随しやすい液滴は、蒸気乾燥器等を通過してしまう傾向がある。図3(a)に示すように、衝突した液滴27は、その入射運動エネルギーにより再飛散する際に、分裂・微粒化の傾向があるので細径化しやすく、従ってキャリーオーバーしやすい。そこで、図3(b)に示すように、本実施の形態において親水性の高い表面材料を用いることで、再飛散する確率を減らせば、液滴の細径化を抑制してそのキャリーオーバーも抑制できる。すなわち、液滴のキャリーオーバー率低減を図ることができる。

【0050】発電所では、この蒸気乾燥器の他に、例えば原子力発電プラントとして図9に示した高圧蒸気タービン59と低圧蒸気タービン60の間に挿入する湿分分離器61にも同様の親水性材料皮膜を付着させた構成が考えられる。この場合でも、液滴発生の抑制、及び液滴のキャリーオーバー率低減という同様の効果を奏することができる。

【0051】（第2の実施の形態）図4は、本発明の第2の実施の形態として、発電所で使用される給水加熱器を熱交換器の代表としてその概略断面を示したものである。2相流流れである蒸気は蒸気入口8から供給され、伝熱管15の間を流れ、熱交換を行い、ドレンとなってドレン出口10より排出される。また、給水は給水入口9より冷水が供給され、伝熱管15を通り、給水出口11より温水となって排出される。このとき、供給された蒸気は、伝熱管15の外側表面に、液膜を形成する。

【0052】本実施の形態は、伝熱管15の表面に親水性材料からなる皮膜を付着させてなるものである。この構成によれば、親水性材料によるコーティングによって伝熱管15の表面が親水性となることから、液膜と伝熱管の接触角が小さくなって、図5(a)に示すように、液膜が薄く伝熱管表面に広がるため、蒸気との接触面積の拡大と凝縮した水膜の滑らかな流下により伝熱効率が上昇する。

【0053】これに対して、従来のコーティングのなかった伝熱管表面は、図5(b)に示すように、液膜が途

切れてしまい、上述の効果とは反対になり、伝熱効率が低下してしまう。

【0054】2相流流れを有する熱交換器としては、この給水加熱器の他に、復水器、熱交換器があるが、これらに本実施の形態と同様に、伝熱管表面に親水性材料をコーティングした場合も、同様に伝熱効率の向上という効果を奏することができる。

【0055】(第3の実施の形態)次に、本発明の第3の実施の形態は、蒸気発生器に内蔵される発熱体被覆管として代表的に、沸騰水型原子炉の原子炉压力容器内に装荷される燃料集合体を形成する燃料被覆管に適用するものである。

【0056】まず、燃料集合体の概要を述べる。原子炉に装荷される燃料集合体は、図6に示すように、筒状の燃料チャンネル32を有しており、この燃料チャンネル32内に、複数の燃料棒33と少なくとも1本のウォータロッド34が収納されている。この燃料集合体31の上下部には、夫々上部タイプレート35及び下部タイプレート36が装着され、この上部タイプレート35及び下部タイプレート36には、上記燃料棒33及びウォータロッド34の両端が、上部端栓37及び下部端栓38によって固定されている。このウォータロッド34には、その軸方向に所定の間隔をおいて、複数のスペーサ39が取り付けられ、このスペーサ39によって燃料棒33を整列支持するとともに、燃料棒33の湾曲が抑止されている。

【0057】冷却材42は、燃料集合体31下部から流入し、下部タイプレート36の孔を通過して、燃料棒33の発する熱を除去しながら燃料集合体31上部に流れていく。

【0058】次に、通常の運転条件における燃料集合体31内の流れは、水と蒸気の混ざった2相流となっており、燃料集合体31上部では、燃料棒33の表面を覆う液膜流により燃料棒33からの熱が除去される。

【0059】現在の炉心の熱設計では、燃料集合体出力に熱的な制限値を設けることによって、燃料棒33の表面の熱伝達率が低下して燃料棒表面温度が上昇しないように、運転範囲が定められている。

【0060】運転範囲を越える状態では、燃料棒33表面の熱伝達率が低下する場合が生じる可能性があるが、その際には、燃料棒表面の液膜流の一部が破断するドライアウトが生じていると考えられている。

【0061】図7(a)および(b)に、ドライアウト状態近傍における、本実施の形態の被覆管と従来技術の被覆管の表面を流れる液膜流をそれぞれ概念的に示す。図7(b)に示すように、従来技術の被覆管44では液膜流46が低下して一部にドライアウト状態が生じるような条件においても、本実施の形態の被覆管43では、図7(a)に示すように、濡れ性が向上しているため、冷却材47による液膜流量が低下しても、滑らかな薄い

液膜が形成されるので、液膜流46の破断が生じ難くなる。濡れ性向上により薄い液膜流が効果的に形成される範囲は、長くても有効発熱部中間から下流側有効発熱部終端までに限定することができる。

【0062】また、濡れ性の向上により沸騰による気泡離脱後の乾燥面の再濡れ(リウェット)が円滑に生じるようになるため、熱伝達率が向上して表面温度が低下するとともにドライアウト発生条件が向上する。これにより、過渡的に燃料被覆管がドライアウトした後、再濡れが早期に生じるため、過渡的ドライアウトによる燃料被覆管への熱的ダメージが緩和されるという効果を奏する。

【0063】以上説明した本実施の形態によれば、燃料被覆管表面をカバーして薄い液膜流を形成してドライアウトの発生を抑制することで、原子炉燃料集合体の熱的性能の向上を図ることができる。また、異常な過渡変化や事故時に燃料被覆管表面がドライアウトした後高温になった場合であっても、蒸気中の液滴やECCS(緊急時炉心冷却系)により注入された冷却水によって、親水化した被覆管表面を効率的に冷却することができるから、ドライアウト後の熱伝達率を向上させることができる。

【0064】すなわち、原子炉燃料集合体における水による冷却効率を向上させることができる。その結果、燃料被覆管表面最高温度の低減、高温状態の継続時間の短縮ができるので、熱的なダメージを緩和することができる。

【0065】なお、本実施の形態においては沸騰水型原子炉の燃料被覆管を例示して説明したが、本発明はかかる構成に限定されるものではなく、加圧水型原子炉などに代表される他の蒸気発生器であってもよく、また、被覆管は蒸気発生源としての発熱体を被覆する発熱体被覆管であればよい。

【0066】(第4の実施の形態)本発明の第4の実施の形態は、上述した第1乃至第3の実施の形態の何れかにおける親水性材料に対して、親水性材料が存在する流路の少なくとも一部に、可視光を透過する透明壁を設けたり、紫外線を含む短波長の電磁波を放射する放射性同位元素を含む流体を流通させる手段をあらたに具備するというものである。すなわち、親水性材料として酸化物半導体、例えば酸化チタンをコーティングした表面に、放射能を帯びた流体を流すと、放射線により酸化チタン表面が励起され、超親水性になる。

【0067】特に、沸騰水型原子力発電所においては、放射能を帯びた1次系冷却材が蒸気乾燥器、湿分分離器、復水器、給水加熱器を順次循環することから、かかる構成の何れかにした場合、上述の放射線により酸化チタン表面を励起して表面を超親水性にすることによる効果が期待できる。

【0068】(第5の実施の形態)本発明の第5の実施

の形態は、上述した第1乃至第3の実施の形態の何れかにおける親水性材料あるいはその主成分として、酸化物半導体を適用するというものである。すなわち、酸化物半導体としては、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{PbO}$ 、 $\text{BaTiO}_3$ 、 $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{WO}_3$ 、 $\text{SrTiO}_3$ 、 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeTiO}_3$ 、 $\text{KTaO}_3$ 、 $\text{MnTiO}_3$ 、 $\text{SnO}_2$  が知られているが、その中で酸化チタンなどは、可視光を含む低い光エネルギーにより、光触媒反応を誘起することで親水性の特性が飛躍的に増大し、超親水性となることが知られている。したがって、検査時などに、光触媒反応の励起用光源として紫外線を用い、酸化チタンコーティング部分に照射し、光触媒反応を起こさせることによって、さらに効率の向上を図ることができる。

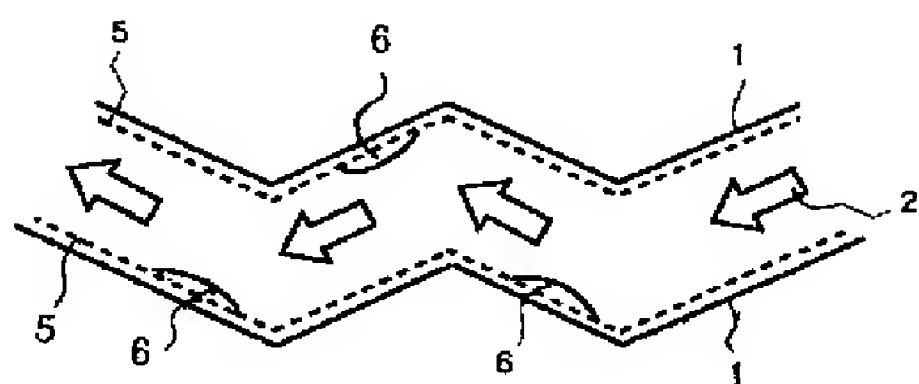
【0069】この場合の親水性材料の被膜厚さについては、磨耗性を考慮すると $0.1\mu\text{m}$ 以上にする必要があり、伝熱性を考慮すると $10\mu\text{m}$ 以下にする必要がある。したがって、被覆厚さを $0.1\sim 10\mu\text{m}$ とすることが好ましい。

【0070】以上で説明した第1、第2の実施の形態およびこの構成を限定する第4、第5の実施の形態では、例として、原子力プラントの蒸気乾燥器、湿分分離器、復水器、給水加熱器、熱交換器に適用した場合を述べてきたが、原子力プラント以外の例えば火力プラントの該当する機器に対しても適用できることはいうまでもない。

【0071】

【発明の効果】本発明によれば、気相と液相とからなる流体を取扱う伝熱システムの所定の位置に親水性材料を適用し、流路表面の液膜流が滑らかに流動するように設定することにより、蒸気乾燥器では表面からの液滴発生抑制による気液分離性能の向上、熱交換器では薄液膜の伝熱面上の広がりによる伝熱効率の増加、発熱体被覆管では液膜流からのドライアウト発生の抑制とドライアウト後の熱伝達率の向上を実現することができる。すなわち、伝熱システムにおける熱的効率の向上を図ることができる。

【図2】



【図面の簡単な説明】

【図1】第1の実施の形態に対応した蒸気乾燥器の一部切欠斜視図である。

【図2】第1の実施の形態に対応した波板式ベーン詳細を示す断面図である。

【図3】親水性表面の作用説明図であり、(a)は従来例を、(b)は第1の実施の形態を示す。

【図4】第2の実施の形態に対応した給水加熱器の概略断面図である。

10 【図5】伝熱管表面の凝縮水膜の作用説明図であり、(a)は第2の実施の形態を、(b)は従来例を示す。

【図6】第3の実施の形態に対応した燃料集合体の概略断面図である。

【図7】発熱体被覆管表面の液膜の作用説明図であり、(a)は第3の実施の形態を、(b)は従来例を示す。

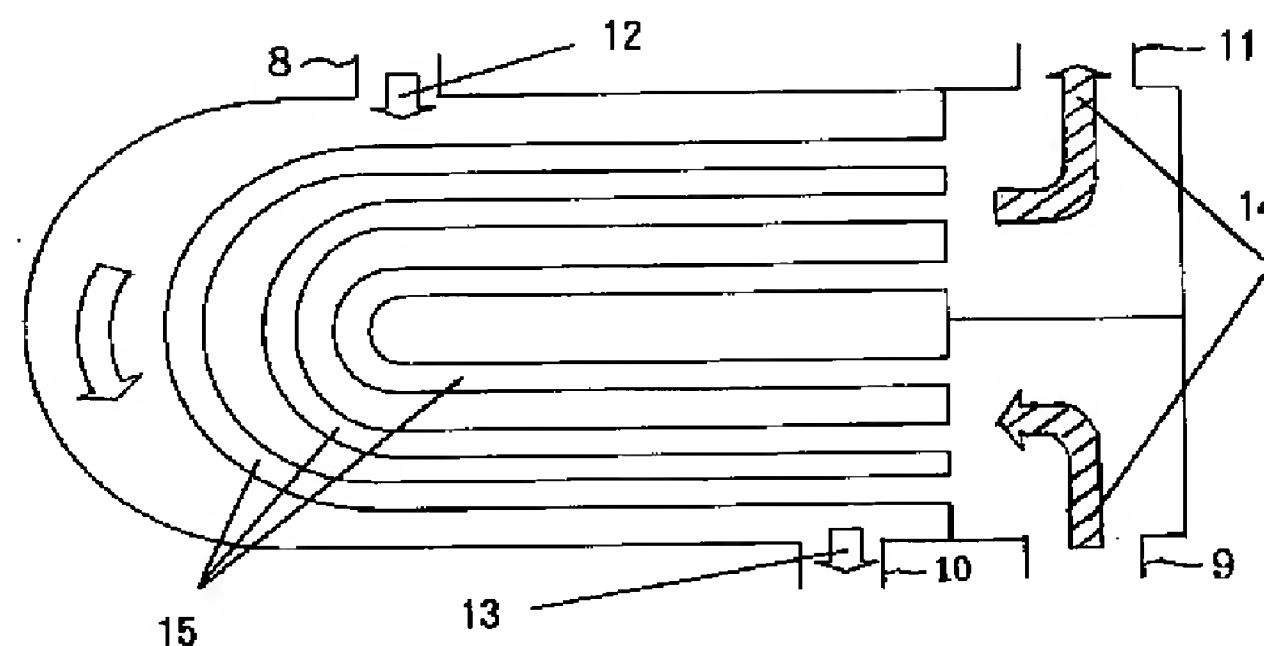
【図8】気水分離システムの概略断面図である。

【図9】原子力発電プラントの概略系統構成図である。

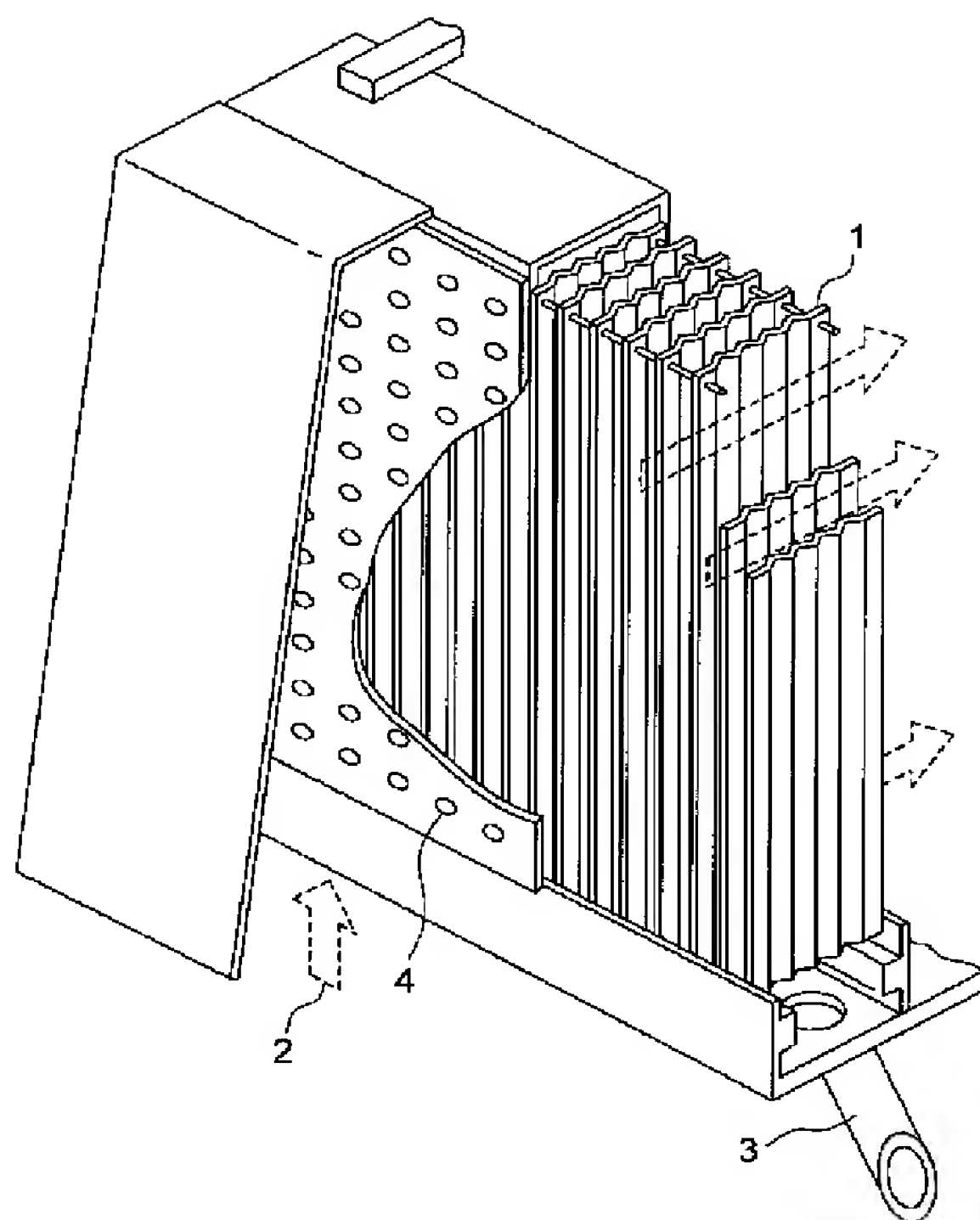
【符号の説明】

1…波板式ベーン、2…二相流流れ、3…ドレン管、4…パンチングプレート、5…酸化チタンコーティング、6…液滴、8…蒸気(二相流)入口、9…給水入口(冷水)、10…ドレン(二相流凝縮水)出口、11…給水出口(温水)、12…二相流流れ、13…ドレン水流れ、14…給水流れ、15…伝熱管、16…従来伝熱管(親水性材料コーティングなし)、17…伝熱管(親水性材料コーティングあり)、18…凝縮水膜、27…衝突液滴、28…飛散液滴、29…親水性表面、30…付着液滴、31…燃料集合体、32…チャンネル、33…燃料棒、34…ウォータロッド、35…上部タイプレート、36…下部タイプレート、37…上部端栓、38…下部端栓、39…スペーサ、40…ネットワーク部、41…下部端栓支持受筒、42…冷却材流れ、43…親水性表面の被覆管、44…従来の被覆管、45…ドライ面、46…液膜流れ、47…冷却材、51…気水分離システム、52…気水分離器、53…蒸気乾燥器

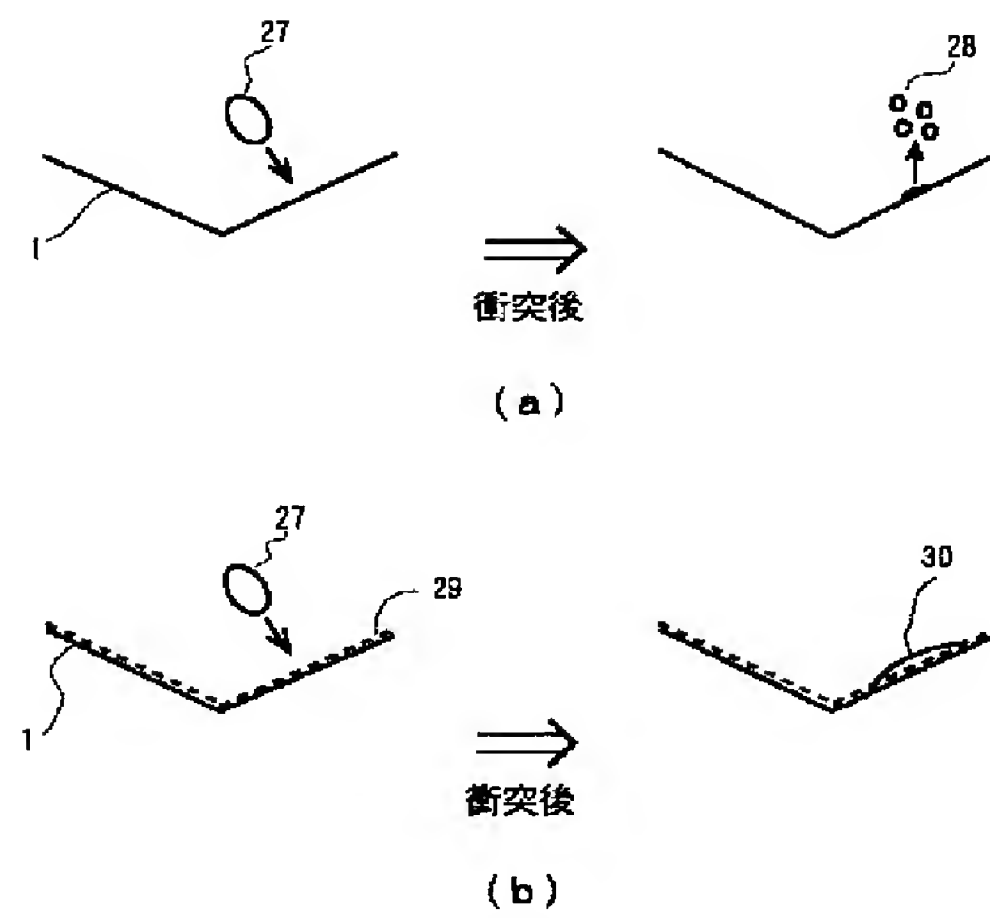
【図4】



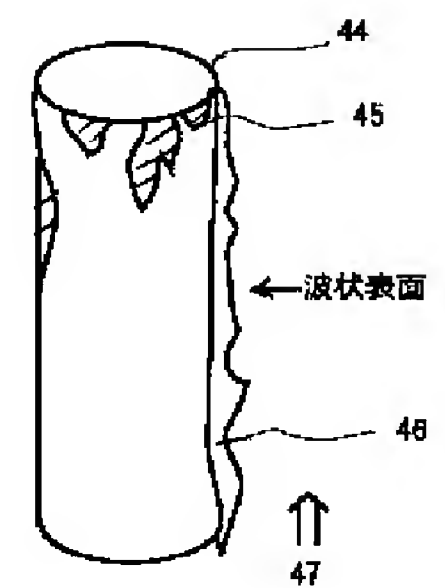
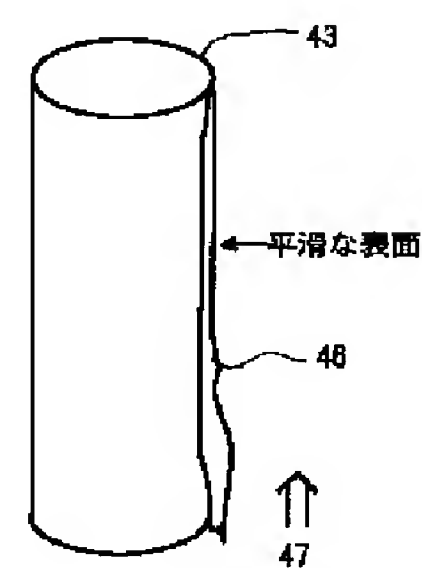
【図1】



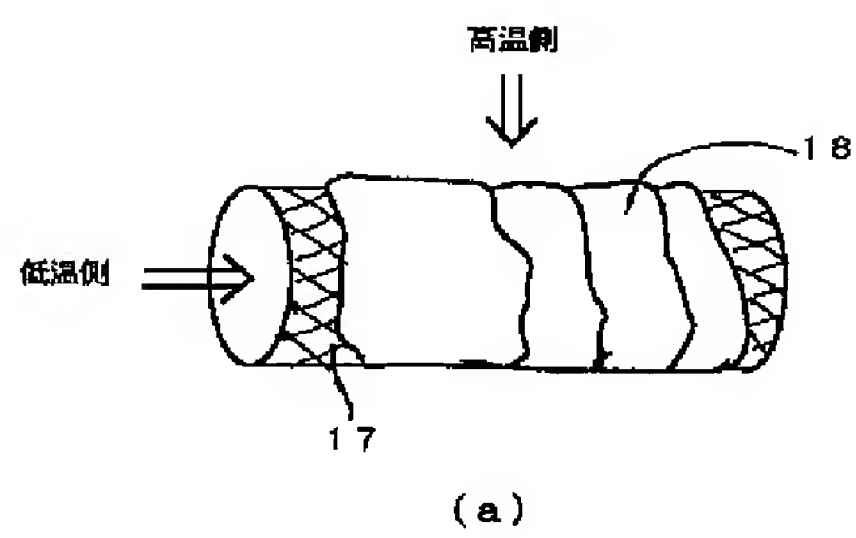
【図3】



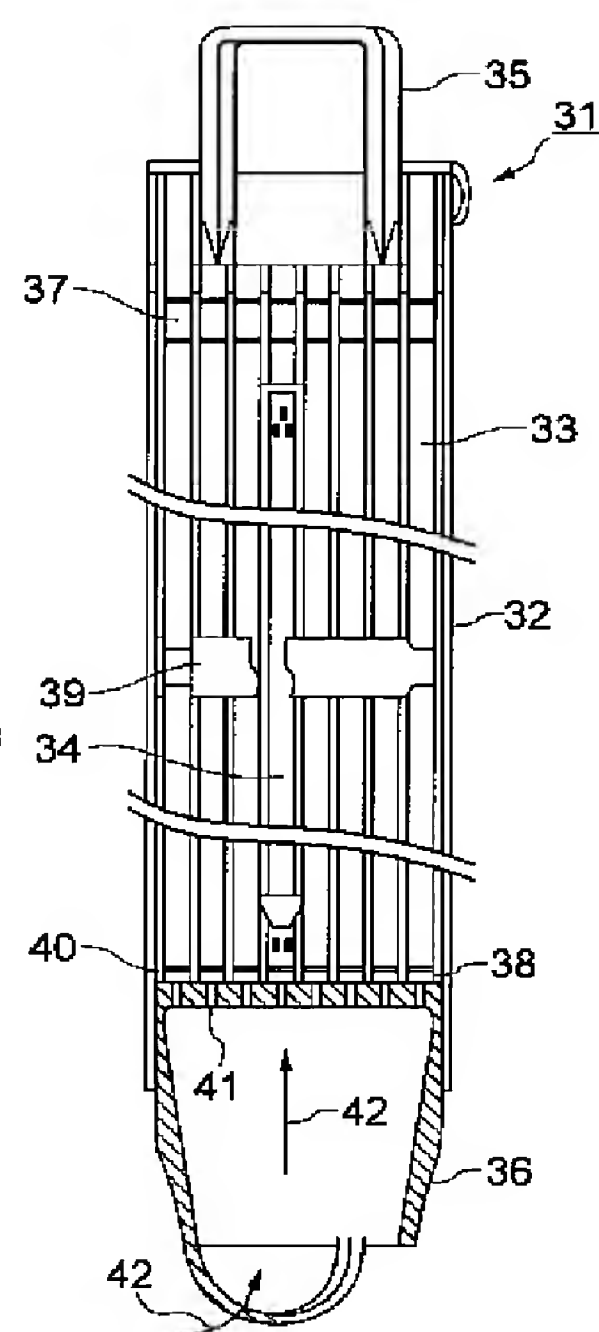
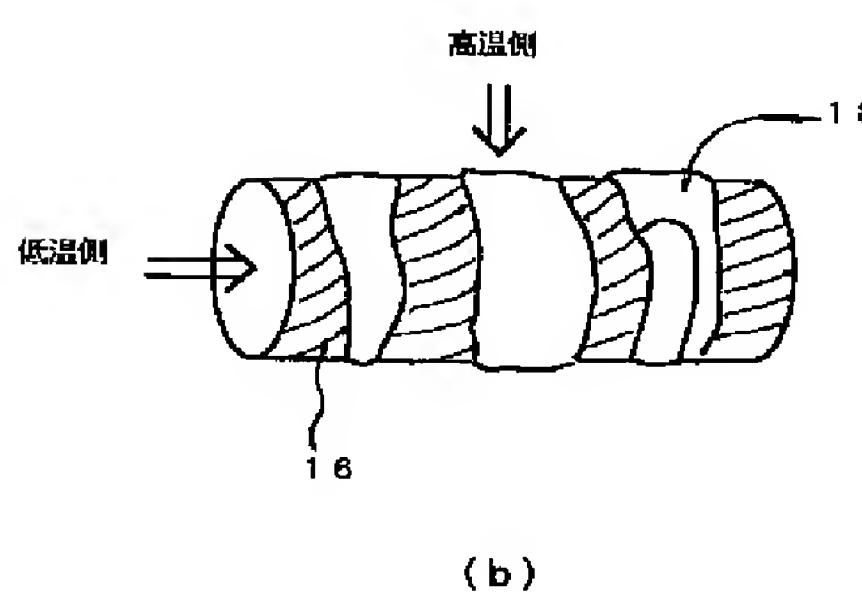
【図7】



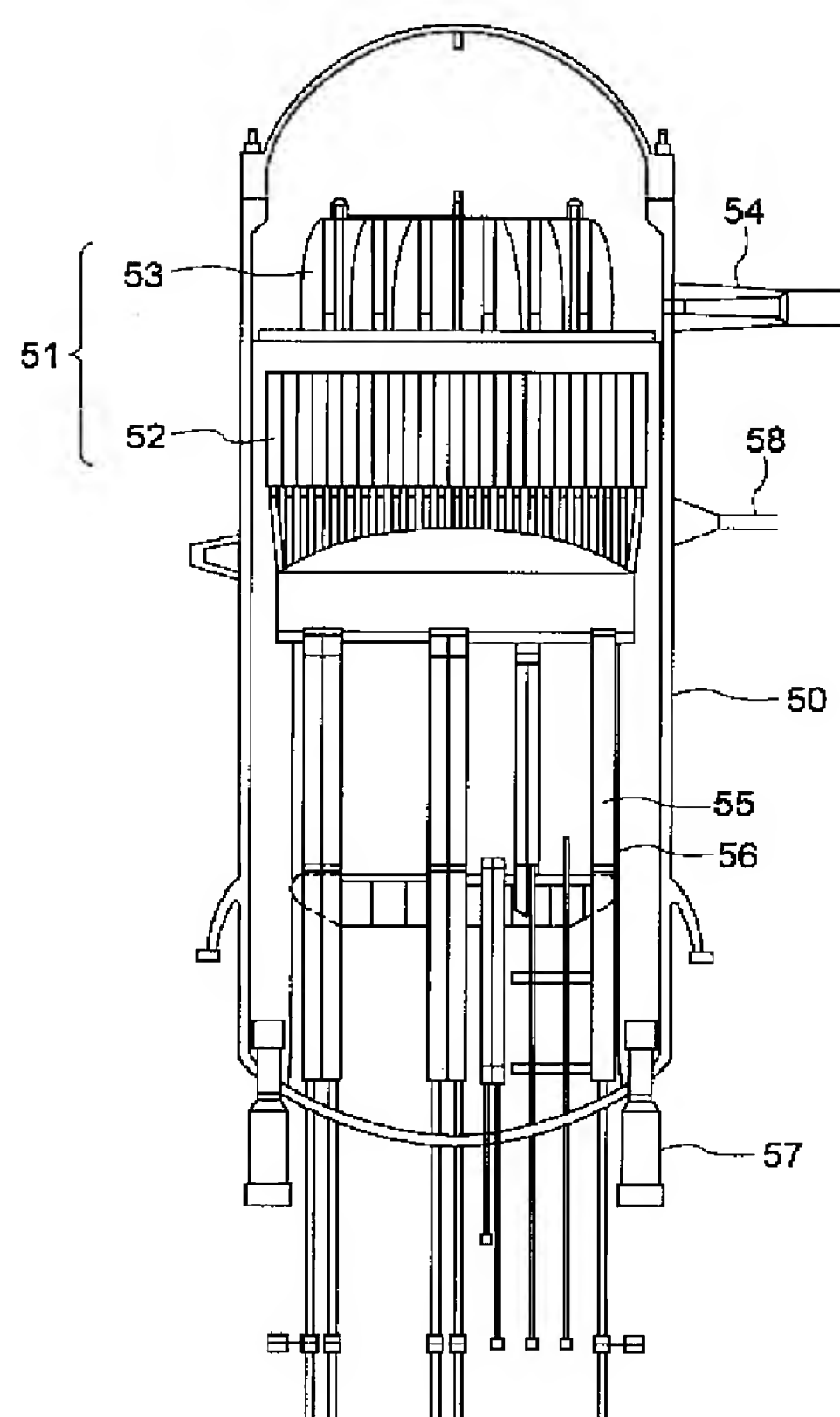
【図5】



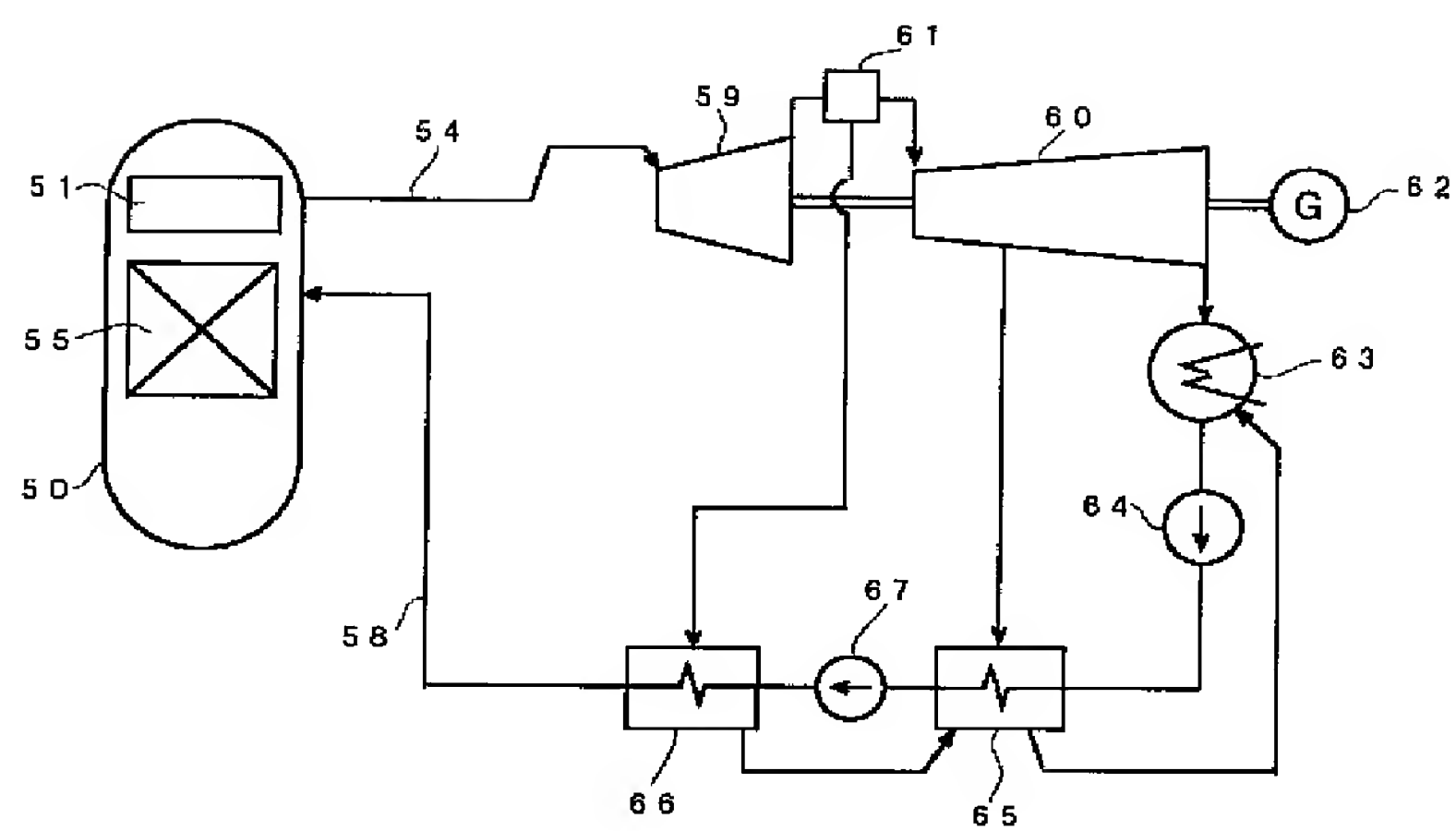
【図6】



【図8】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 小林 実  
神奈川県横浜市磯子区新杉田町8番地 株  
式会社東芝横浜事業所内

**PAT-NO:** JP02003090892A  
**DOCUMENT-IDENTIFIER:** JP 2003090892 A  
**TITLE:** STEAM DRYER, HEAT EXCHANGER,  
HEATING ELEMENT SHEATH AND  
HEAT TRANSFER SYSTEM  
**PUBN-DATE:** March 28, 2003

**INVENTOR-INFORMATION:**

NAME	COUNTRY
ISHIBASHI, FUMIHIKO	N/A
MITSTAKE, TORU	N/A
KOBAYASHI, MINORU	N/A

**ASSIGNEE-INFORMATION:**

NAME	COUNTRY
TOSHIBA CORP	N/A

**APPL-NO:** JP2001301408  
**APPL-DATE:** September 28, 2001

**PRIORITY-DATA:** 2001214337 (July 13, 2001)

**INT-CL (IPC):** G21C015/16 , F22B037/28 ,  
F28F013/18 , G21C003/06 ,  
G21D001/00

**ABSTRACT:**

PROBLEM TO BE SOLVED: To improve the thermal

efficiency in a heat transfer system provided with any one of a steam dryer, a heat exchanger, and a heating element sheath.

SOLUTION: The steam dryer comprises a passage wall having a coating of hydrophilic material adhered to the bent passage wall surface in order to capture droplets accompanied by steam. The heat exchange for bringing a high-temperature gas phase into contact with a low-temperature liquid phase through a heat transfer face to perform a heat exchange comprises a coating of hydrophilic material adhered to the surface of the heat transfer face where the gas phase is condensed. The heating element sheath for enclosing a heating element on the outer surface of which a coolant is carried comprises a coating of hydrophilic material adhered to the surface of the sheath. In such a heat transfer system, further, a material mainly composed of an oxide semiconductor is suitably used as the hydrophilic material.

COPYRIGHT: (C) 2003, JPO